



ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE PASTAS MINERAIS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

CAVALCANTE, M.J.J.¹; ANDRADE, P.C.²; CARVALHO, I.S.B.³; GALERY, R.⁴; SOARES, V.A.A.P⁵

¹ Aluna de Graduação do Curso Licenciatura em Química, Instituto Federal do Sertão Pernambucano, e-mail: mariajose96@bol.com

² Professora do Instituto Federal do Sertão Pernambucano, e-mail: patricia.andrade@ifsertaope.edu.br

³ Engenheira Metalurgista Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materias e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: ibatis@demin.ufmg.br

⁴ Professor da Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: rgalery@demin.ufmg.br

⁵ Engenheira de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: vanessaengminas@gmail.com

RESUMO

Os estudos para melhorar o tratamento de rejeitos gerados nos processos de tratamento de minérios são cada vez mais necessários, a fim de diminuir os impactos ambientais desse setor. Devido a dificuldade de sedimentação natural desses rejeitos que são ricos em partículas finas e ultrafinas, melhorias contínuas dos processos de aglomeração, desaguamento e produção de rejeitos com percentagens de sólidos mais elevadas se fazem necessário. Daí a necessidade de estudos para melhoria dos processos de floculação e espessamento. Neste presente trabalho foi realizada avaliação das influências de floculantes catiônicos, aniônicos e não iônicos no rejeito de minério de ferro da Vale, Mina do Pico, localizada em Itabirito (MG). Para avaliação da consistência das pastas, testes slump foram realizados em várias faixas de concentração de sólidos. Os resultados mostram uma forte influência da concentração inicial de sólidos e do tipo de polímero floculante, no estado de agregação das partículas.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros floculantes, processos de agregação, velocidade de sedimentação, pasta mineral

ABSTRACT

Studies to improve the treatment of tailings generated from ore treatment processes are increasingly needed in order to reduce the environmental impacts of this sector. The sedimentation difficulty of wastes high in fine in fine and ultrafine particles continuous improvements in the agglomeration, dewatering and tailing treatment processes. Hence the need for studies to improve the flocculation and thickening processes. In this work, the influence of cationic, anionic and non ionic flocculants was evaluated in Vale 's iron ore tailings, Pico Mine, located in Itabirito (MG). In order to evaluate the consistency of the mineral pastes, slump tests were carried out in several ranges of solids concentration. The results show a strong relationship the initial solids concentration and the type of flocculant polymer used, in the state of aggregation of the particles.

KEYWORDS: flocculants Polymers, aggregation processes, settling velocity, mineral paste

1. INTRODUÇÃO

O processamento mineral gera grandes quantidades de rejeitos. Estes rejeitos compostos por substâncias com baixo teor mineral e com menor granulometria fornecem grandes quantidades de material a serem dispostos em barragens.

A maior parte da disposição de rejeitos da mineração mundial se faz por barragens de rejeitos, cuja função principal é a contenção dos mesmos, tendo por objetivo secundário o armazenamento de água para o reuso na mina e/ou no beneficiamento (IBRAM, 2016).

O método mais utilizado no beneficiamento do minério de ferro para a disposição de rejeitos é o armazenamento em barragens. Potenciais falhas nas barragens podem causar grandes desastres ambientais, causando mortes, fechamento das plantas mineradoras entre outros fatos relevantes.

Os fatores ambientais também passaram a representar fatores econômicos e a utilização mais racional dos recursos disponíveis. Impactos negativos decorrentes da eventual ruptura de barragens de rejeito, motivou o desenvolvimento de novas abordagens de caracterização tecnológica e de disposição de rejeitos.

A disposição de rejeitos na forma de pasta mineral apresenta diversas vantagens em comparação às barragens de rejeitos convencionais, por exemplo: precisa-se de uma área muito menor para disposição, apresenta melhor recuperação de água, é menor o risco de contaminação de áreas pela ruptura de barragens, reduz a contaminação de água de processo possibilitando o reaproveitamento desta, facilita a recuperação final do local entre outros Barreda(2012) Com esta tecnologia de pasta é possível reduzir riscos e, ao mesmo tempo, melhorar a eficiência na armazenagem dos rejeitos industriais (Johnson et al., 2005).

A tecnologia de pastas tem se desenvolvido rapidamente, no mundo e no Brasil. No entanto, deve-se ressaltar que esta tecnologia, principalmente no que se refere aos espessadores de pasta, não está disponível, ficando as informações com os fabricantes. Este fato mostra a necessidade do desenvolvimento de estudos, para a melhor compreensão dos mecanismos envolvidos no espessamento de materiais com o objetivo de alcançar as características de pasta mineral. De acordo com Falcucci (2007), as pastas geralmente podem ser obtidas a partir de uma ampla faixa granulométrica, ainda que um mínimo de 15% das partículas do material deva apresentar tamanho inferior a 20µm.

Até muito recentemente, entretanto, o baixo desempenho, os altos custos operacionais e de investimento das tecnologias de desaguamento disponíveis tornavam a separação mecânica sólido-líquido uma opção impraticável para a maioria mineradoras. Desde os anos 1930, os avanços tecnológicos no desaguamento foram estimulados principalmente pela necessidade de preenchimento com *backfill* nas galerias subterrâneas com os rejeitos das usinas de beneficiamento mineral (Cincilla et al., 1997).

A disposição em forma de pasta pode ser feita superficialmente ou em minas subterrâneas. O primeiro caso é viável em caso de minas a céu aberto, para que haja uma minoração das áreas para depósito em superfície. Já nas minas subterrâneas, a viabilidade relaciona-se à necessidade de preenchimento para manutenção da estabilidade do maciço. Nesse último caso, as condições de resistência da pasta são de deveras importância, sendo assim, aditivos podem ser adicionados ao material, como: estéril, areia e/ou cimento.

Assim, pode-se dizer que a tecnologia de pasta desempenha um papel fundamental no gerenciamento de rejeitos sustentáveis para as minas modernas (Yilmaz, 2016).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais utilizados

Foram utilizadas amostras minerais proveniente da barragem de rejeito de minério de ferro da Vale, Mina do Pico, localizado em Itabirito (MG).

Foram estudados o desempenho das poliacrilamidas de alto peso molecular de cargas aniônicas, catiônicas e não-iônicas da empresa Clariant que pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos floculantes estudados do fabricante Clariant

Floculante	Tipo de carga	Estado físico
Flotisor FL 35739	Poliacrilamida aniônica	sólido
Flotisor FL 35348	Poliacrilamida aniônica	sólido
Flotisor FL 7130	Poliacrilamida aniônica	sólido
Flotisor FL 7464	Poliacrilamida catiônica	sólido
Flotisor FL 16353	Poliacrilamida catiônica	sólido
Flotisor FL 28755	Poliacrilamida não-iônica	sólido

2.2 Métodos

As técnicas e equipamentos utilizados nesta caracterização são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Técnicas e equipamentos utilizados na caracterização da amostra

Propriedade	Técnica utilizada	Equipamento(s) requerido(s)
Composição química	- Fluorescência de raios X (FRX). - Microscopia eletrônica (EDS).	- Espectrômetro de raios X dispersivo (EDS). - Microsonda eletrônica.
Composição mineralógica	- Difração de raios X (DRX). - Espectrometria de Infra Vermelha (EIV). - Microscopia eletrônica de varredura (MEV).	- Espectrômetro de raios X. - Espectrômetro de luz infravermelha. - Microsonda eletrônica (MEV).
Granulometria	Peneiramento, classificação centrífuga e difração de laser.	- Granulômetro Cilàs.
Densidade	Picnometria	- Picnômetro simples.
Formação de polpas	Sedimentação descontínua	Provetas de 2000mL
Consistência da pasta	Teste de abatimento	Cilindro de PVC.

A determinação da composição mineralógica foi realizada pelo Método de raio X (Os difratogramas foram obtidos pelo método do pó, e coletados em um equipamento Philips-PANalytical, modelo EMPYREAN, nas seguintes condições de operação: radiação $\text{CuK}\alpha$ e

monocromador $\lambda=1,54184 \text{ \AA}$; velocidade do goniômetro de $0,06^\circ (2\theta)$ por passo com tempo de contagem de 1 segundos por passo e coletados de $3,03$ a $89,97^\circ (2\theta)$.

A granulometria foi realizada pelo Granulômetro Quantachrome, modelo Cilas 1064, e a densidade por picnometria simples.

Para a caracterização das pastas minerais foram utilizadas as seguintes técnicas e equipamentos:

- A avaliação das características de sedimentação de polpas foi realizada com auxílio de provetas 2L. O teste baseia-se no deslocamento da interface superior da suspensão com o tempo. A partir dos dados de altura da interface obtidos em função do tempo de teste, são traçadas curvas de sedimentação. A curva de sedimentação é obtida, com inclinação, em um dado tempo que fornece a velocidade de sedimentação.
- Para os testes de abatimento, foi utilizado um cilindro de PVC com 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro para observar a consistência da pasta. Neste teste, o cone é preenchido com amostra até completar todo seu volume, sendo retirado verticalmente, e verificando-se a diferença entre a altura original e a final, que é chamada de altura de “slump” ou altura de abatimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização das amostras sólidas

3.1.1 Fluorescência de Raios X (FRX)

Os resultados das análises semiquantitativas por espectrometria de fluorescência de raios X das amostras são apresentados na Tabela 3. Na amostra os elementos ferro e oxigênio têm alta ocorrência.

Tabela 3. Análises semiquantitativas por espectrometria de fluorescência de raios X

Ocorrência	Elemento
Alto	Fe, O
Médio	Si, Al
Baixo	P
Traço	Pb, Mn, Cr, V, Ti, K, S

3.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e EDS

Os resultados da difração de raio X foram observados no difratograma, e as fases minerais majoritárias identificadas durante a interpretação foram quartzo, hematita, caulinita, gibbsita e goethita.

A análise realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou alguns aspectos microestruturais da amostra, como apresentado na Figura 2.

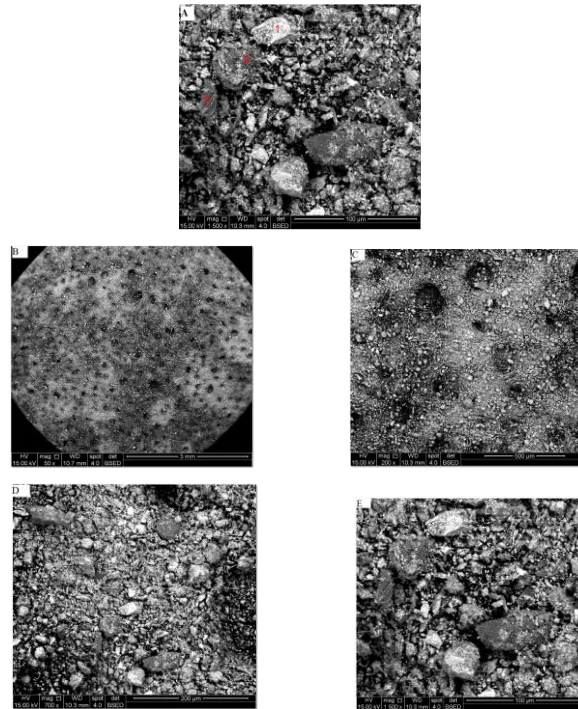


Figura 2. Representação de imagens obtidas pelo MEV utilizando detector de elétrons retroespalhados na amostra geral com um aumento de 1500 x (Figura 2A), 50 x (Figura 2B), 200 x (Figura 2C), 700 x (Figura 2D), 1500 x (Figura 2E).

De acordo com a análise da Tabela 4 a partícula 1 é uma hematita, a partícula 2 é um quartzo e a partícula 3 é uma caulinita.

Tabela 4. Análise química quantitativa correspondentes a amostra relativa à Figura 2

% Massa	Partícula 1	Partícula 2	Partícula 3
O	13,05	27,42	37,36
Mg	0,30	0,26	0,44
Al	1,94	1,19	21,62
Si	1,29	61,33	22,56
Fe	83,42	9,81	18,02

3.1.4 Distribuição granulométrica do sólido

A amostra de rejeito tem uma distribuição granulométrica de d50 das partículas de 3,76 μm e os parâmetros d10 e d90 são respectivamente 0,51 μm e 14,53 μm , de acordo com o granulômetro Cilas, logo classificadas como partículas finas (10 μm -1 μm), de acordo com a Figura 4.

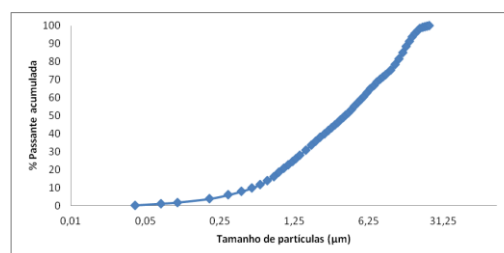


Figura 4. Análise granulométrica realizada pelo granulômetro Cilas.

3.1.5 Massa específica da amostra mineral

O valor da massa específica média da amostra foi de $3,53 \text{ g/cm}^3$.

3.2 Ensaio de sedimentação descontínua

3.2.1 Ensaio de sedimentação descontínua na amostra dispersa, na ausência de floculantes

A Figura 4 apresenta o comportamento da variação da altura de interface em função do tempo dos ensaios realizados na amostra estudada em provetas de 2L na ausência de reagentes. Para uma polpa cuja porcentagem de sólidos em massa é de 20% foram encontrados uma velocidade de sedimentação de $0,0280 \text{ cm/s}$ e para 30% de sólido em massa de $0,0087 \text{ cm/s}$.

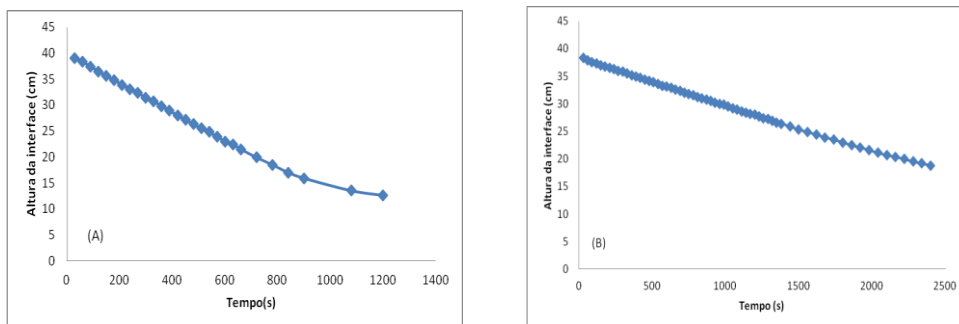


Figura 5. Variação da altura de interface versus tempo, utilizando uma proveta de 2L : (A) 20% de sólidos em massa (B) e 30% de sólidos em massa.

3.2.2 Desempenho dos floculantes em polpa dispersa

Na Figura 6 observa-se o desempenho dos floculantes de alto peso molecular em polpa dispersa com 20% de sólido em massa adicionando para as cargas das poliácridamidas: catiônica, aniônica e não iônica.

De acordo com a Figura 6 a poliácridamida catiônica Floticor FL74644 apresenta uma polpa com maior velocidade de sedimentação e uma dosagem de floculante de 20 g/t . A poliácridamida aniônica FL 35739 apresentou uma velocidade de sedimentação de $0,33 \text{ cm/s}$ com uma dosagem de floculante de 5 g/t .

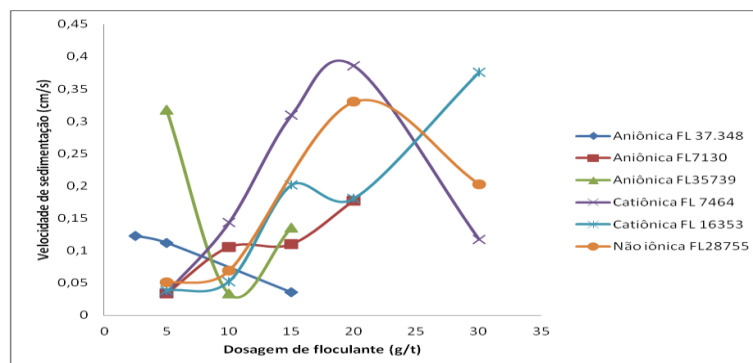


Figura 6. Velocidade de sedimentação para diversos tipos de floculantes em polpas dispersas.

3.3 Caracterização das pastas minerais

3.3.1 Teste de abatimento "slump"

Definido através dos testes de sedimentação, os flocculantes que tiveram maior desempenho na velocidade de sedimentação, de acordo com o tipo, carga e dosagem podem ser observado na Tabela 6.

Tabela 6. Desempenho das poliacrilamidas de acordo com a sua, carga, tipo e dosagem

Carga	Tipo	Dosagem do Reagente (g/t)	Velocidade de Sedimentação (cm/s)
Aniônica	Flotisor 35739	5	0,318
Catiônica	Flotisor 7464	20	0,385
Não iônica	Flotisor 28755	20	0,330

O comportamento das pastas obtidas foi estudado em função da porcentagem de sólidos em massa, a partir de 60 até 75% de sólidos em massa, para pastas na ausência de flocculantes e pastas utilizando flocculantes definidos acima. Os resultados dos testes de abatimento das pastas minerais são apresentados na Figura 7.

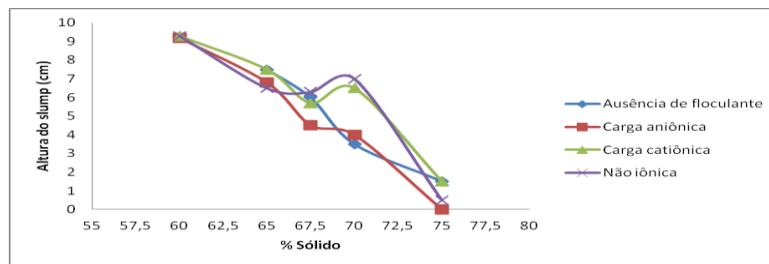


Figura 7. Resultados de altura de abatimento de cone (Hs)

Na figura 7 pode-se observar que para uma polpa mineral na ausência de flocculante em menores porcentagens de sólido há um aumento do abatimento, aumentando assim a mobilidade da pasta e diminuindo a coesão entre as partículas minerais. Quando aumenta-se a porcentagem de sólido em massa, diminuindo assim a quantidade de água na pasta mineral ocorre uma diminuição no adensamento e aumenta a coesão entre as partículas minerais.

Para avaliação do abatimento de pastas minerais produzidas artificialmente, foram realizados os testes de slump, cujo resultado é apresentado na figura 8. Como pode ser visto, na produção de pastas o aumento do desaguamento provoca a diminuição de seu abatimento, reduzindo, assim, a mobilidade de massa e aumentando a coesão entre as partículas minerais. A figura 8 verifica-se que na presença de flocculante tem-se uma diminuição no adensamento e um aumento da coesão entre as partículas minerais. Pode-se observar através das figuras 8 (a) e figura 8 (b) respectivamente, uma etapa de transição de polpa e pasta de baixa densidade já em 60% a 67,5% de sólidos em massa. Para 70% de sólidos em massa tem-se a presença de pasta mineral, observado na figura 8 (c).

Observa-se que quando se acrescenta flocculante na polpa mineral haverá como consequência o aumento da coesão entre as partículas minerais.

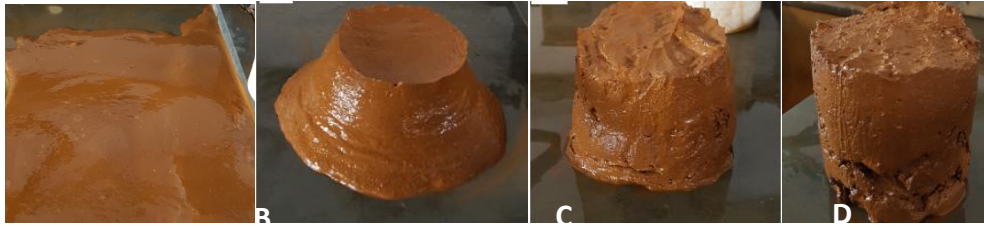


Figura 8: Sequência de abatimento na ausência de floculante: (a) 60% de sólido em massa (b) 67,5% de sólido em massa (c) 70% de sólido em massa (d) 75% de sólido em massa.

4. CONCLUSÕES

Os elementos predominantes do sólido são quartzo, hematita e caulinita de acordo com difratograma de raio x. Com tamanho de d_{50} de $3,76 \mu\text{m}$ e diâmetro médio das partículas de $5,82 \mu\text{m}$ o que favorece a formação de pastas minerais.

Inicialmente foram realizados testes de sedimentação em provetas de 2 L em polpa de rejeito de minério de ferro com 20 e 30% de sólido em massa com velocidade de sedimentação respectivamente $0,028 \text{ cm/s}$ e $0,0087 \text{ cm/s}$, em pH médio de 7,5.

Sabendo-se que o melhor desempenho da velocidade de sedimentação é para uma polpa de 20% de sólido, foram realizados testes de sedimentação analisando os floculantes de cargas catiônicas, aniônicas e não iônicas em pH natural. O floculante que obteve maior velocidade de sedimentação e menor dosagem é Flotisor 7464 com uma dosagem de 20 g/t e uma velocidade de sedimentação de $0,3853 \text{ cm/s}$.

Foi possível observar que maiores concentrações de polímeros aumentam a velocidade de sedimentação, porém há uma dosagem máxima, a partir da qual possivelmente acontece o fenômeno de reversão de cargas superficiais.

No teste de adensamento na ausência de floculante observou-se que 70% de sólido em massa tem-se a presença de pasta mineral, ao passo que utilizando floculante observou-se que em 67,5% de sólido em massa tem-se a presença de pasta mineral. A presença de floculante diminui o adensamento e aumenta a coesão entre as partículas minerais.

5. REFERÊNCIAS

- BARREDA, R. H. O. Desenvolvimento de equipamento produtor de pasta mineral para aproveitamento dos rejeitos das lamas calcárias e diminuição do impacto ambiental. 2012. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) –Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.2012
- Cincilla WA, Landriault DA, Verburg R. Application of paste technology to surface disposal of mineral wastes. Proceedings of the Fourth International Conference on Tailings and Mine Waste, Fort Collins, Colorado. Balkema, Rotterdam: 1997, p. 343 – 356.
- Falucci A. A influência de floculantes poliméricos na formação de pastas minerais [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais; 2007
- IBRAM. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. IBRAM Instituto Brasileiro de Mineração. 1a. ed. Brasília: 2016, p. 128.
- Johnson JM, Vialpando J, Lee C. Paste Tailings Management Alternative – Study Results for Molycorp’s Lanthanide Group Operations in Mountain Pass, California. Mining Engineering. USA: February, 2005, p. 51 - 56.
- Yilmaz E. Sustainable Tailings Management: Importance of Paste Technology. In: 16th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP) / International Symposium on Computer Applications (CAMI); 2016 Oct 05-07; Istanbul, Turkey. p. 87-95.